

## Research Article

# Development of Low-Pressure Irrigation from an Economic Point of View, Based on Pressure-Energy Scenarios

I Farjoudi Kouhenjani 1, A Parvaresh Rizi 2\*, MR Rafiee 3

Received: December 9, 2023

Accepted: August 4, 2024

Revised: July 29, 2024

Published online: September 22, 2024

1-Graduated M.Sc., Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2-Associate Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3-Assistant Professor, Department of Water Science & Engineering, Jahrom University, Jahrom, Iran.

\* Corresponding Author's Email: parvarsh@ut.ac.ir

## Abstract

### Background and Objectives

Replacing the pressurized irrigation system with surface irrigation is one of the proposed solutions to increase irrigation efficiency. The low-pressure network consists of pipes that receives water from main and/or secondary canals or pipes and usually delivers it to farm units or hydro-flume pipes for surface irrigation with a pressure of lower than 10m of water. Various parameters affect the feasibility and design of low-pressure irrigation, which determine the economic justification of the plan, energy consumption, and its social desirability. In recent years, there has been more interest in implementing low-pressure irrigation instead of open tertiary canals. The reason for this is the reduction of water losses in the distribution and delivery process, the possibility of better management of water distribution, the possibility of volume delivery of water to agricultural plots, and the possibility of irrigating more lands. But there are still ambiguities in its economic and technical issues, and no significant research has been done on its design issues and parameters affecting its economic aspect. In this research, the design of a low-pressure distribution system instead of the open canals and the simultaneous consideration of social and executive issues in an irrigation area are considered. In addition, network design based on different design options (pressure-energy consumption), evaluation and comparison of two types of sub-networks from an economic and operational view have been proposed as research objectives. Focusing on the correct selection of the pump (with a lower energy consumption approach) and estimating for the economic comparison of the two methods of irrigation have been done.

### Methodology

The land of Keyzarin village (with an area of 144 hectares) is located on the right bank of the Tangab river in Fars province. The lands of the right bank use the springs of the region. Although these springs can reduce the withdrawal from underground aquifers as a suitable water source, but the low efficiency of water transfer and distribution in the traditional canals has caused a significant reduction in the delivered water to the farms. The characteristics of the irrigation network in the current situation are as follows: a canal with a length of 610 meters and a design flow of  $360 \text{ L s}^{-1}$ , leads a part of the water of the "Qomp Atashkade" spring to the dividing point and divides it equally into two canals. In order to design low-pressure instead of the open canal, the layout of water conveyance and distribution lines is determined. The initial pipes' diameter is determined according to the optimal speed, and then, the appropriate pump is selected based on the design flow rate and the topography of the area. In this research, the pressure control system is selected according to the topography of the region and the slope of the land, the type of closed system.



Socially, the available option for the layout of pipes is to follow the arrangement of the traditional canals. From a technical point of view, there are several options that, the main difference between them is in the hydraulic design and the type of pump used; So that, accordingly, the number of pumps, the commercial diameter of the pipes and the amount of energy consumed in each option are determined. Therefore, these options need to be compared technically and economically. In this research, 14 scenarios are defined based on 7 types of pump designs and two output pressures. The energy consumption of each scenario has been calculated according to the flow rate and cropping pattern in each irrigation season. Then, the comparison of costs in low-pressure and open canals network is calculated and compared.

## **Findings**

The cost of constructing an open tertiary network per hectare of land is equal to 990 million Rials. The costs of earthworks with machines, which are related to the volume of cut and fill, and then the cost of in-situ concrete, respectively, constitute the largest percentage of the total costs of the canal networks. Based on the results of the quantity surveying and estimating of the low-pressure sub-network, the cost of constructing for each hectare is equal to 1654 million Rials. The costs of providing polyethylene pipes, purchasing valves and piping operations constitute the highest costs of constructing a low-pressure network, respectively. However, if the operation and maintenance costs are not met (by the government or farmers) and if the maintenance and operation of the low-pressure pipes is neglected, the resulting problems will disable the network completely. The construction of the low-pressure network in the studied area can make 3.6 hectares of land available to farmers due to the less space occupied by this network and also increase the cultivated area by 21.6 hectares (A total of 17.5% is added to the cultivated land in the irrigated area). Considering the quality of land in the region, the price of each hectare of irrigated land and rainfed land in the region is estimated to be one billion Rials and 300 million Rials, respectively. Therefore, as a result of the implementation of the low-pressure network, the profit from the increase in the price of agricultural land (conversion of rainfed to irrigated) will be equal to 18 billion Rials, which is equal to 83% of the total cost of the construction of the low-pressure network. Proper layout of lands in low pressure irrigation can reduce the costs of construction of the network. Also, the amount of more land that can be cultivated after the implementation of low-pressure irrigation and the amount of reduction of land waste compared to open canals can be effective in the economic justification and acceptability of the development of low-pressure irrigation. In low-pressure networks, repairs and maintenance, unlike open canals, are somehow mandatory, and if it is not done to a reasonable extent, water will not be distributed. From this point of view, the cost of maintenance and operation of low-pressure networks in developing countries is estimated to be more than that of open irrigation canals.

## **Conclusion**

Low-pressure networks were chosen as the superior option for tertiary canals due to various technical advantages and also to compensate for the initial implementation costs by increasing the water transmission efficiency and increasing the cultivated area. Based on the results obtained, it can be said that despite the acceptability of low-pressure irrigation, comprehensive studies should be done in each region for its implementation, and the specific topographical, agricultural, operation, and economic-social conditions in a region may not be consistent with its implementation. Also, for the design, special attention should be paid to the final output pressure, the precise design of the pumps based on different options and the type of low-pressure irrigation network.

**Keywords:** Agricultural water distribution, Maintenance cost, Pump selection, Quantity surveying and estimating, Tertiary irrigation network

## مقاله پژوهشی

### توسعه شبکه‌های آبیاری فرعی کم‌فشار از دیدگاه اقتصادی، مبتنی بر سناریوهای فشار-انرژی

ایمان فرجودی کوهنجانی<sup>۱</sup>، عاطفه پرورش ریزی<sup>۲\*</sup>، محمد رفیع رفیعی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران.

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: parvarsh@ut.ac.ir

#### چکیده

جایگزینی سامانه آبیاری تحت فشار با آبیاری سطحی، یکی از راهکارهای پیشنهادی برای افزایش راندمان آبیاری است. شبکه فرعی کم‌فشار معمولاً جایگزین کانال‌های درجه سه، چهار و گاهی کانال‌های درجه دو است. در امکان‌سنجی و طراحی آبیاری کم‌فشار عوامل مختلفی اثرگذارند که توجیه اقتصادی طرح، مصرف انرژی و مطلوبیت اجتماعی آن را تعیین می‌کنند. در این تحقیق طراحی یک سامانه توزیع کم‌فشار به جای شبکه فرعی روباز و در نظر گرفتن هم‌زمان مسائل اجتماعی و اجرایی در یک ناحیه آبیاری مد نظر است. ضمناً طراحی بر اساس گزینه‌های مختلف (منظور کردن فشار لازم-انرژی مصرفی)، تبیین روش‌شناسی برای طراحی آبیاری کم‌فشار و ارزیابی و مقایسه دو نوع شبکه فرعی (رو باز و کم‌فشار) از نظر اقتصادی و اجرایی، به عنوان اهداف تحقیق مطرح بوده‌اند. تمرکز بر انتخاب صحیح پمپ (با رویکرد مصرف انرژی کمتر) و انجام متره و برآورد برای مقایسه اقتصادی دو روش اجرای شبکه فرعی آبیاری در موردکاوی انجام شده است. طبق نتایج برای گزینه برتر فشار-انرژی، هزینه تهیه لوله‌های پلی‌اتیلن، خرید شیرآلات و عملیات لوله‌گذاری لوله‌ها به ترتیب بیشترین هزینه‌های احداث شبکه فرعی کم‌فشار را تشکیل می‌دهند. احداث شبکه فرعی کم‌فشار در اراضی آبیاری منطقه کی‌زرین استان فارس می‌تواند ۳/۶ هکتار از اراضی را به علت اشغال فضای کمتر نسبت به شبکه روباز آزاد کند و همچنین سطح زیرکشت را به دلیل مدیریت بهتر آب موجود، به میزان ۲۱/۶ هکتار افزایش دهد و در مجموع ۱۷/۵ درصد به سطح زیر کشت آبی اضافه کند. بنابراین ۸۳ درصد از هزینه کل احداث شبکه فرعی کم‌فشار به وسیله احیای اراضی دیم و کاهش فضای اشغال‌شده تامین می‌شود. درنهایت در این ناحیه، احداث شبکه فرعی کم‌فشار نسبت به شبکه فرعی روباز، برتری خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: انتخاب پمپ، توزیع آب کشاورزی، شبکه‌های آبیاری فرعی، متره و برآورد، هزینه تعمیر و نگهداری

## مقدمه

از آنجا که در حدود ۹۰٪ از منابع آب شیرین در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، مدیریت صحیح آب در بخش کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است؛ به‌ویژه در مناطقی که راندمان آبیاری کمتر از متوسط جهانی است (بینا و زرشناس ۲۰۰۶). جایگزینی سامانه آبیاری تحت فشار به جای سیستم آبیاری سطحی، یکی از راهکارهای پیشنهادی برای افزایش راندمان آبیاری است که گاهی با مشکلاتی چون عدم اقبال کشاورزان و راندمان نه چندان قابل قبول، مواجه است. یکی از راه‌های افزایش راندمان انتقال آب احداث شبکه‌های مدرن آبیاری است که در آن باید به طراحی و اجرای توأم شبکه‌های اصلی و فرعی توجه کرد. در بسیاری از نقاط جهان برای احداث شبکه‌های فرعی، از شبکه توزیع کم‌فشار استفاده می‌شود (پیرا و همکاران ۲۰۰۳). شبکه کم‌فشار عبارت است از شبکه‌ای از لوله‌ها که آب را از کانال یا لوله‌های درجه یک و/یا درجه دو تحویل می‌گیرد و معمولاً با فشاری کمتر از ۱۰ متر آب (۱bar) به واحدهای مزرعه و یا لوله‌های هیدروفولوم برای آبیاری سطحی تحویل می‌دهد. شبکه فرعی کم‌فشار معمولاً جایگزین کانال‌های درجه سه، چهار و در برخی موارد جایگزین کانال‌های درجه دو است (بن‌توم و اسموت ۱۹۹۲). بابان و ایدروس علی (۲۰۰۱) به بررسی اثرات اقتصادی و اجتماعی استفاده از خطوط لوله PVC به جای کانال‌های باز برای انتقال آب زیرزمینی استخراج‌شده به مناطق بایر در جنوب یمن پرداختند، هدف تحقیق به حداقل رساندن مقدار تلفات آب در خطوط انتقال بود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از لوله‌های مدفون در مقیاس‌های کوچک از نظر مالی مقرون‌به‌صرفه است، درحالی‌که شاید این نکته به صورت مستقیم قابل‌لمس نباشد. مینایی و همکاران (۲۰۰۵) به مقایسه سیستم توزیع کم‌فشار با سیستم آبیاری سطحی و بارانی در استان خوزستان پرداختند و در نهایت با توجه به نتایج حاصل از مقایسه فنی و اقتصادی گزینه‌های مختلف در دو شبکه آبیاری به

این نتیجه رسیدند که سیستم آبیاری کم‌فشار گزینه‌ای مناسب و قابل‌رقابت در مقایسه با سامانه‌های آبیاری سطحی و تحت‌فشار است. جیحون و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی تأثیر هم‌زمان جانمایی شبکه و روش‌های آبیاری سطحی و کم‌فشار به منظور تعیین گزینه برتر فنی و اقتصادی آبیاری شبکه فرعی در سطح ۱۰۰۰ هکتار از اراضی دشت رامهرمز را بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از روش آبیاری کم‌فشار با استفاده از جانمایی مناسب شبکه، گرچه هزینه سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً بالاتری نسبت به آبیاری سطحی دارد ولی به دلیل سهولت در اجرا و بهره‌برداری و افزایش راندمان، مناسب به نظر می‌رسد. در پژوهش مختاری حصار و همکاران (۲۰۱۹) که با هدف کیفی تعیین و تحلیل مشکلات به کارگیری سامانه آبیاری کم‌فشار در استان آذربایجان شرقی انجام شد، از نظر پاسخگویان، مقوله‌های مشکلات مربوط به گرفتن مجوزها، اثبات مالکیت زمین، نبود یا کمبود سرمایه اولیه، روند پیچیده اداری برای تقاضا و تصویب طرح، و کافی نبودن میزان تسهیلات در مقابل افزایش هزینه اجرا، بیشترین فراوانی را داشتند.

در سال‌های اخیر اقبال به سمت اجرای آبیاری کم‌فشار به جای شبکه‌های فرعی روباز بیشتر شده است. علت آن به کاهش تلفات آب در فرایند توزیع و تحویل، امکان مدیریت بهتر توزیع آب، امکان تحویل حجمی آب به قطعات زراعی، تسهیل بهره‌برداری در شبکه‌های فرعی برای کشاورزان و امکان زیر کشت بردن اراضی بیشتر با یک حقاچه مشخص است. اما هنوز در مسائل اقتصادی و فنی آن ابهاماتی وجود دارد و تحقیقات در خور توجهی درباره مسائل طراحی آن و پارامترهای مؤثر بر جنبه اقتصادی آن انجام نشده است. هدف از این تحقیق طراحی یک سامانه توزیع کم‌فشار به جای شبکه فرعی روباز و در نظر گرفتن هم‌زمان مسائل اجتماعی و اجرایی است که در ناحیه آبیاری موردنظر وجود دارد. به دنبال انجام طراحی اصولی بر اساس گزینه‌های مختلف طراحی (منظور کردن فشار لازم- انرژی مصرفی)، تبیین

قرار دارد. اراضی ساحل راست عمدتاً از آب چشمه‌های پرآب منطقه مانند چشمه‌های خرقة و قمپ آتشکده و پمپاژ از چاه‌ها (در مواقع کم‌آبی چشمه‌ها) استفاده می‌کنند. با اینکه این چشمه‌ها می‌توانند به‌عنوان یک منبع آبی مناسب، برداشت از سفره‌های زیرزمینی را کاهش دهند اما راندمان پایین انتقال و توزیع آب در شبکه آن‌ها ر سنتی باعث کاهش قابل‌توجه آب دریاقتی مزارع شده است (بی نام ۲۰۱۳). چشمه قمپ آتشکده، پرآب‌ترین چشمه در دشت فیروزآباد است که آبدهی آن بین ۱۸۵ تا ۳۰۰۰ لیتر در ثانیه اندازه‌گیری شده است. محصولات کشت‌شده در منطقه به دودسته صیفی (ذرت و برنج) و شتوی (گندم، کلزا و جو) تقسیم می‌شوند. مشخصات شبکه فرعی روباز در شرایط کنونی بدین شرح است: کانالی به طول ۶۱۰ متر و با دبی طراحی ۳۶۰ لیتر بر ثانیه، ۲۸ درصد از آب چشمه قمپ آتشکده که به اراضی کی‌زیرین تخصیص‌یافته است را تا محل تقسیم هدایت می‌کند و به طور مساوی به دو سهم معاونی و دانگی انتقال می‌دهد. این کانال در شکل ۱ بارنگ قرمز نشان داده شده است.

آب منتقل‌شده، توسط کانال‌هایی با دبی طراحی ۱۸۰ لیتر بر ثانیه و از طریق ۱۴ آبگیر، آب هر سهم را به‌صورت نوبتی به واحدهای زراعی تحویل می‌دهد. در هر واحد زراعی نیز آب توسط تعدادی آبگیر به واحدهای مزرعه تحویل می‌شود. مشخصات هر دو کانال در جدول ۱ آمده است. در این شبکه فرعی ۷۱ شیب شکن و ۷۷ آبگیر و سازه چک وجود دارد. با تنظیم هد روی هر آبگیر (با تنظیم بازشدگی دریچه‌های آبگیر) می‌توان تقسیم دبی بین واحدهای زراعی را به نسبت سهم هر یک از واحدهای زراعی با دقت نسبتاً خوبی انجام داد.

روش‌شناسی برای طراحی آبیاری کم‌فشار، ارزیابی و مقایسه دو نوع شبکه فرعی (رو باز و کم‌فشار) از نظر اقتصادی و اجرایی و تعیین مطلوبیت کاربرد شبکه کم‌فشار به‌جای شبکه روباز نیز مدنظر این پژوهش است. از شاخص‌هایی که برای تحلیل و ارزیابی به کار می‌روند می‌توان به تلفات آب، نحوه توزیع آب، دوام شبکه و هزینه احداث و نگهداری شبکه اشاره کرد. با وجود اقبالی که در سال‌های اخیر نسبت به توسعه شبکه‌های فرعی کم‌فشار وجود داشته، موضوع این تحقیق به این صورت که به جنبه‌های طراحی و اقتصادی آبیاری کم‌فشار در شبکه‌های فرعی پرداخته است، در تحقیقات پیشین گزارش نشده است و به‌طور مشخص، ارزیابی و مقایسه دو نوع شبکه فرعی (رو باز و کم‌فشار) از نظر اقتصادی و اجرایی و بررسی تأثیر انتخاب پمپ و انرژی مصرفی در توجیه طرح، از نوآوری‌های تحقیق محسوب می‌شود.

### مواد و روش‌ها

در این بخش علاوه بر تشریح ویژگی‌های منطقه طرح، اصول کلی حاکم بر طراحی فنی شبکه کم‌فشار مطرح می‌شود که در نهایت به سناریوهای مختلف طراحی برای تحلیل اقتصادی منتهی شده است. سپس هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری هر دو نوع از شبکه‌های آبیاری فرعی از طریق متره برآورد و همچنین بر اساس تجارب موجود در ایران و در منابع خارجی، مقایسه شده است.

- ویژگی‌های منطقه آبیاری در موردکاوی

اراضی روستای کی‌زیرین (به وسعت ۱۴۴ هکتار) در ساحل راست رودخانه تنگاب از توابع شهرستان فیروزآباد واقع است و در فاصله ۹۵ کیلومتری از شیراز



شکل ۱- جانمایی شبکه آبیاری فرعی روباز در مطالعه موردی.

جدول ۱- مشخصات کانال‌های طراحی شده در شبکه فرعی روباز

نام کانال	طول (km)	عرض کف (m)	عمق (m)	شیب جانبی	شیب طولی	دبی طراحی ( $L s^{-1}$ )	عمق متناظر با دبی طراحی (m)	ارتفاع آزاد (m)	ظرفیت کانال در حالت پر ( $L s^{-1}$ )
کانال انتقال	۰/۶۱	۰/۷۵	۰/۴	۱	۰/۰۰۲	۳۶۰	۰/۳۱	۰/۰۹	۵۷۵
کانال‌های توزیع	۱۰	۰/۵	۰/۴	۱	۰/۰۰۲	۱۸۰	۰/۲۶	۰/۱۴	۴۲۰

بهینه‌سازی قطر لوله‌ها انجام می‌گردد. سپس نوع و سایز شیرآلات، ترانشه کارگذاری، جاده سرویس و تجهیزات مقابله با ضربه آبی طراحی می‌شود. در این تحقیق سیستم کنترل فشار با توجه به توپوگرافی منطقه و وضعیت قرارگیری و شیب اراضی از نوع سیستم بسته انتخاب شده است، منبع تأمین فشار پمپ است، و نحوه قرارگیری اراضی نسبت به منبع تأمین آب، جانمایی شاخه‌ای است.

- معرفی سناریوهای انتقال و توزیع آب

- روش کلی طراحی و جایگزینی شبکه آبیاری

کم‌فشار فرعی

به طور کلی برای طراحی و جایگزینی شبکه فرعی کم‌فشار به جای آن‌ها روباز، در ابتدا با توجه به شرایط منطقه، نوع شبکه توزیع و دبی طراحی تعیین شده و سپس جانمایی خطوط انتقال و توزیع آب انجام می‌شود. قطر اولیه لوله‌ها با توجه به سرعت بهینه تعیین شده و در مرحله بعد بر اساس دبی طراحی، توپوگرافی منطقه و افت لوله‌ها، در صورت لزوم پمپ متناسب با دبی طرح و هد موردنیاز انتخاب شده و پس از انتخاب پمپ،

ورودی به هر واحد آبیاری با استفاده از شیرهای پروان‌های کنترل شود. در این سناریو افزایش حداقل فشار خروجی می‌تواند به توزیع بهتر آب کمک کند. اما از سوی دیگر باعث افزایش قطر لوله‌ها و افزایش هزینه‌ها خواهد شد.

۲- در طراحی سعی شده که فشار در نقاط خروجی‌ها نزدیک به ۲ متر تنظیم شود. با نصب جریان‌سنج بر روی ورودی هر کدام از واحدهای آبیاری، مقدار دبی ورودی به هر واحد به طور دقیق توسط شیر آبگیر آن واحد کنترل و تنظیم شود.

از این رو هفت مدل پمپ و برای هر مدل پمپ دو سناریو وجود خواهد داشت و در مجموع ۱۴ سناریو معرفی و بررسی شد (جدول ۲). پس از بهینه‌سازی قطر لوله‌ها در هر سناریو با استفاده از نرم‌افزار Water GEMS، انرژی مصرفی هر مدل پمپ با توجه به دبی و الگوی کشت در هر فصل آبیاری محاسبه قیمت هر مدل پمپ و موتورپمپ با استعلام از شرکت سازنده مشخص شد. در مرحله بعد هزینه هر گزینه شامل خرید و کارگذاری لوله‌ها، خریداری پمپ‌ها و هزینه انرژی مصرفی در هر سال (با توجه به قیمت برق کشاورزی)، تعیین شد و با استفاده از انتقال کل هزینه‌ها به سال صفر (سال ۱۴۰۲)، هزینه نهایی برآورد گردید. برای ارائه گزینه‌های طرح، پمپ‌هایی که توان تأمین ارتفاع حدود ۱۰ متر و دبی حداقل ۸۰ لیتر بر ثانیه را دارا بوده و در این بازه از هد و دبی با راندمان مناسب کار کنند، انتخاب شدند (زیرا ظرفیت انتقال آب در شبکه روباز تا  $L \cdot s^{-1}$  وجود دارد). همچنین از پمپ‌های با دور موتور ۲۹۰۰ rpm به دلیل مشکلات بهره‌برداری و هزینه بیشتر تعمیرات و نگهداری استفاده نشد.

برای جلوگیری از بروز مسائل اجتماعی و عدم نیاز به تملک اراضی، گزینه موجود برای چیدمان لوله‌ها، تبعیت از چیدمان شبکه آن‌ها سنتی موجود در منطقه است. از نظر فنی گزینه‌های متعددی وجود دارد که بعد از منظور کردن ملاحظات اولیه طراحی، اصلی‌ترین تفاوت آن‌ها در طراحی هیدرولیکی و نوع پمپ مورد استفاده است؛ به طوری که به تبع آن، تعداد پمپ‌ها، قطر تجاری لوله‌ها و میزان انرژی مصرفی در هر گزینه تعیین می‌شود. بنابراین نیاز است این گزینه‌ها از نظر فنی و اقتصادی مقایسه شوند. شایان ذکر است که در طراحی سامانه‌های کم‌فشار، طراحی درست پمپ نقش مهمی در مصرف انرژی، مطلوبیت استفاده از سیستم کم‌فشار، مقدار هزینه‌ها و حتی میزان مصرف آب دارد؛ موضوعی که معمولاً در فاز طراحی دچار ساده‌انگاری می‌شود و ممکن است، گزینه‌های مختلف انتخاب پمپ بررسی نشوند. در این تحقیق، ۷ مدل پمپ که با توجه به منحنی‌های مشخصه، توانایی برآورد نیاز فنی طرح را دارند، انتخاب شدند. برای هر پمپ، بهینه‌سازی قطر لوله‌ها به نحوی صورت گرفته که فشار موردنظر در خروجی‌ها تأمین شود. مقدار فشار مطلوب و توصیه شده در خروجی در سامانه‌های کم‌فشار، برابر ۲ متر آب است. البته با توجه به محدودیت‌هایی نظیر عمق کارگذاری و اندازه قطر تجاری لوله‌ها، در برخی سناریوها طراحی فشار خروجی دقیقاً به اندازه ۲ متر امکان‌پذیر نیست. با توجه به کاشت فراگیر برنج در منطقه و نیاز به توزیع هم‌زمان آب بین اراضی با کشت‌های متفاوت، دو نوع سناریو به شرح زیر مطرح شد:

۱- در طراحی، فشار در تمام نقاط خروجی‌ها برابر ۵ متر تنظیم شود. در این سناریو با توجه به امکان عملکرد شیرهای پروان‌های به‌عنوان شیر کنترل، دبی

جدول ۲- سناریوهای پیشنهادی انتخاب پمپ برای انتقال و توزیع آب در آبیاری کم فشار.

شماره سناریو	نام پمپ	تعداد پمپ (CKP)	دور موتور (rpm)	قطر پروانه (mm)	فشار خروجی (m H <sub>2</sub> O)
۱	P-۲۵۰-۲۰۰	۳	۱۴۵۰	۲۲۰/۲۳۵	۵
۲	P-۱۲۵-۲۵۰	۵	۱۴۵۰	۲۴۰	۵
۳	P-۱۵۰-۲۵۰	۳	۱۴۵۰	۲۳۵/۲۲۰	۵
۴	-۳۲۰-۳۱۵-۲۰۰ P	۴	۹۶۰	۳۲۰	۵
۵	-۳۰۰-۳۱۵-۲۰۰ P	۴	۹۶۰	۳۰۰	۵
۶	P-۳۱۵-۱۵۰	۵	۹۶۰	۲۸۰	۵
۷	P-۳۱۵-۲۵۰	۵	۹۶۰	۲۸۰	۵
۸	F-۲۵۰-۲۰۰	۳	۱۴۵۰	۲۲۰/۲۳۵	۲
۹	F-۱۲۵-۲۵۰	۵	۱۴۵۰	۲۴۰	۲
۱۰	F-۱۵۰-۲۵۰	۳	۱۴۵۰	۲۳۵/۲۲۰	۲
۱۱	-۳۲۰-۳۱۵-۲۰۰ F	۴	۹۶۰	۳۲۰	۲
۱۲	-۳۰۰-۳۱۵-۲۰۰ F	۴	۹۶۰	۳۰۰	۲
۱۳	F-۳۱۵-۱۵۰	۵	۹۶۰	۲۸۰	۲
۱۴	F-۳۱۵-۲۵۰	۵	۹۶۰	۲۸۰	۲

کانال‌کنی، کف کانال و دیواره‌ها رگلاژ و تنظیم می‌شود. در مرحله بعد در زیر محل احداث کف کانال‌ها برای زهکشی آب نشت کرده از کف کانال و جلوگیری از لغزش و تخریب کانال، یک‌لایه فیلتر ریخته می‌شود که ضخامت آن برابر ۱۵ سانتی‌متر است. پس از فیلترریزی نوبت به کارهای بتنی می‌رسد. در انتها هزینه حمل و نقل مصالح شامل آب، فولاد، سیمان، گچ و تونان<sup>۱</sup> در بخش حمل و نقل محاسبه می‌شود.

ب- برآورد هزینه در ساخت شبکه فرعی کم فشار متره و برآورد شبکه کم فشار به سه بخش اصلی ایستگاه پمپاژ، شیرآلات و لوله‌ها تقسیم می‌شود. ایستگاه پمپاژ خود به چهار بخش پمپ‌ها، تجهیزات مکانیکی، تجهیزات برقی و ابنیه ایستگاه پمپاژ تقسیم می‌شود. از این بین هزینه پمپ‌ها بر اساس استعلام قیمت انجام شده

- مقایسه هزینه‌ها در شبکه‌های فرعی کم فشار و روباز هزینه‌ها در سه بخش با هم مقایسه شده‌اند:

الف- برآورد هزینه در ساخت شبکه فرعی روباز برای احداث کانال‌های فرعی، قبل از شروع عملیات خاکریزی لازم است عوارض موجود در مسیر مانند بوته‌ها، درختان و بناها برچیده شده و مسیر برای احداث کانال آماده شود. از آنجا که مسیر پیشنهادی این طرح منطبق بر آن‌ها سنتی است، عوارض خاصی در مسیر وجود ندارد. در مرحله بعد هزینه‌های خاکبرداری بنا به جنس زمین تعیین می‌شود (زمین‌های لجنی، زمین‌های خاکی و زمین‌های سنگی). پس از خاکبرداری یا خاکریزی با استفاده از بیل مکانیکی و قالب‌های ساخته شده برحسب اندازه کانال مقطع کانال موردنظر در بستر آماده شده حفر می‌شود (کانال‌کنی). پس از

<sup>۱</sup> اولین مرحله خاکریزی، تهیه مصالح موردنیاز از منبع قرضه است که اصطلاحاً به آن تونان می‌گویند



ج- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در شبکه‌های فرعی روباز و کم‌فشار  
 هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در شبکه‌ها به دو بخش هزینه‌های بهره‌برداری و هزینه‌های نگهداری تقسیم می‌شود. هزینه نگهداری شامل نگهداری کانال‌ها، لوله‌ها، سازه‌های آبی، بناها و تجهیزات شبکه است. هزینه‌های بهره‌برداری نیز شامل هزینه انرژی مصرفی و نیرو انسانی در طول دوره بهره‌برداری است. این هزینه‌ها به صورت درصدی از هزینه کل احداث شبکه در نظر گرفته می‌شود (جدول).

جدول ۳- ضرایب هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری بر اساس درصدی از هزینه اولیه احداث (بنگوم و اسموت ۱۹۹۴).

نوع هزینه	شبکه لوله‌ای بتن غیر مسلح	شبکه لوله PVC و PE	شبکه کانال خاکی	شبکه کانال با پوشش بتنی
تعمیرات و نگهداری	۱.۵	۱	۳-۵	۳-۸
نیروی انسانی بهره‌بردار	۱.۵	۱	۳	۲

### نتایج و بحث

در اجرا و بهره‌برداری شبکه کم‌فشار، علاوه بر هزینه خرید اجزای شبکه (لوله‌ها، پمپ‌ها، شیرآلات...) و هزینه‌های نصب و جاگذاری آن‌ها، هزینه برق مصرفی در طول دوره طرح (سی سال) برای هر سناریو (بر اساس جدول ۲) لحاظ شد. برای انتخاب سناریوی پمپ برتر، علاوه بر دیدگاه اقتصادی، میزان مصرف انرژی و راندمان پمپ‌ها در نقطه بهره‌برداری پمپ نیز منظور شد و در نهایت سناریوی شماره ۸ (F-۲۰۰-۲۵۰) به عنوان سناریوی برتر انتخاب شد. پس از وارد کردن این پمپ در طراحی شبکه کم‌فشار، دو شبکه فرعی روباز و شبکه فرعی کم‌فشار بر اساس بر اساس فهارس بهای رسته آب (بی‌نام ۲۰۲۲a، بی‌نام ۲۰۲۲b، بی‌نام ۲۰۲۲c) متره و برآورد شدند، تا هزینه‌های آن‌ها با هم مقایسه شود.

- متره و برآورد شبکه فرعی روباز و شبکه فرعی کم‌فشار

در این بخش نتایج متره و برآورد شبکه فرعی کانال‌های روباز و شبکه فرعی کم‌فشار آورده شده و

از کارخانه سازنده، برآورد شده است. لازم است که اجزای ایستگاه پمپاژ با همه جزئیات طراحی، و سپس بر اساس فهرست‌بها متره و برآورد شوند. هزینه شیرآلات به سه بخش خرید، و حمل و نصب تقسیم می‌شود. در این مورد هزینه خرید شیر کشویی، شیر پروان‌های و اتصال‌های قابل پیاده‌سازی بر اساس استعلام قیمت‌های انجام‌شده از کارخانه‌های سازنده انجام شده است. هزینه لوله‌ها نیز به سه بخش خرید، حمل و نصب تقسیم‌بندی می‌شود.

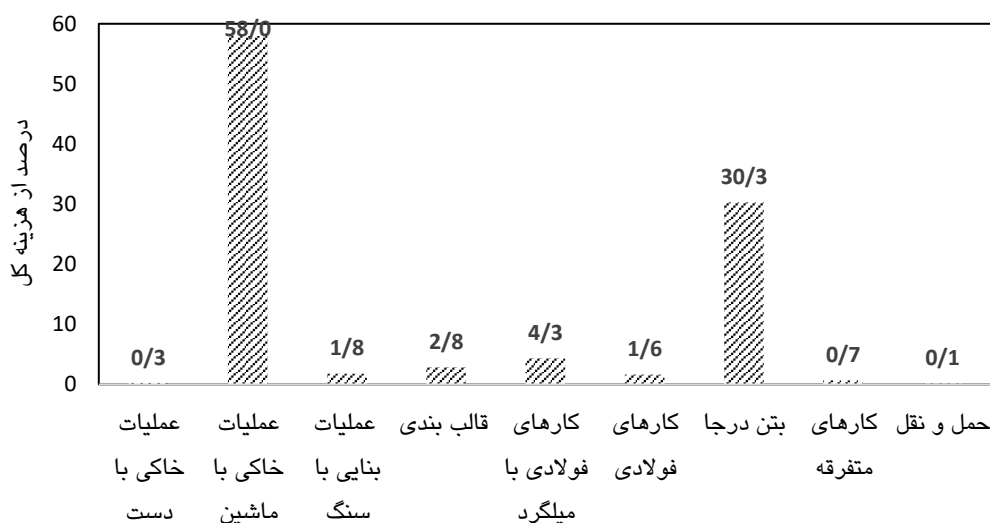
طبق جدول هزینه تعمیر و نگهداری شبکه روباز

با پوشش بتنی با توجه به سادگی سازه‌های موجود در شبکه که نیازمند هزینه‌های بالای تعمیر و نگهداری نیستند و اینکه به دلیل تأمین آب توسط چشمه، مشکلات رسوب در شبکه کم است و خاک منطقه نیز خاک مناسبی است، برابر ۴ درصد از هزینه احداث شبکه لحاظ شده است.

هزینه تعمیرات و نگهداری شبکه کم‌فشار (بدون احتساب ایستگاه پمپاژ) نیز یک درصد از هزینه ابتدایی خرید و کارگذاری لوله‌ها در نظر گرفته شده است. هزینه نگهداری شیرآلات و تجهیزات ایستگاه پمپاژ با نظر کارشناسان ۱۰ درصد از هزینه خرید و کارگذاری این تجهیزات لحاظ شده است. هزینه بهره‌برداری در شبکه‌های فرعی روباز عبارت است از هزینه نیروی انسانی بهره‌بردار، در صورتی که در شبکه‌های روباز علاوه بر هزینه نیروی انسانی بهره‌بردار هزینه انرژی مصرفی نیز لحاظ شده است.

به هزینه ساخت کانال‌ها است به ترتیب بیشترین درصد از هزینه‌های کل شبکه فرعی روباز را تشکیل می‌دهند. (مجموعاً بیش از ۸۵ درصد از کل هزینه‌ها). در طراحی شبکه فرعی روباز، توپوگرافی منطقه و رقوم منبع آب نسبت به ناحیه آبیاری، عامل مهمی است که می‌تواند توجیه اقتصادی طرح‌ها را تحت تأثیر قرار دهد.

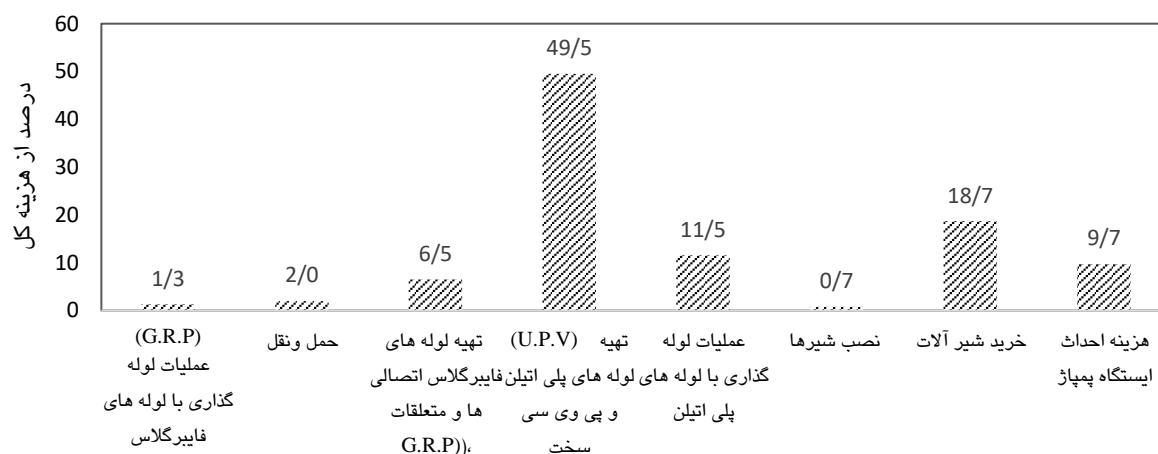
نسبت هزینه‌های هر بخش از اجراء، به هزینه‌های کل شبکه فرعی کانال‌های روباز در ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج متره و برآورد شبکه فرعی روباز، هزینه نهایی این شبکه حدود ۱۴۳ میلیارد ریال و برای هر هکتار از اراضی، ۹۹۰ میلیون ریال است. طبق ۲، هزینه‌های عملیات خاکی با ماشین که مربوط به حجم خاک‌ریزی و خاک‌برداری است و پس‌از آن هزینه بتن درجا که مربوط



شکل ۲- درصد هزینه هر یک از اجزای متره برآورد نسبت به هزینه کل برای شبکه فرعی روباز.

شکست روبرو خواهد شد. بر این اساس جانمایی منطبق با علایق کشاورزان باوجود افزایش حدود ۱/۵ برابری هزینه‌ها بهترین گزینه ممکن است. با توجه به افزایش ۱/۵ برابری افزایش هزینه‌ها، در صورت تغییر چیدمان شبکه به شکل اصولی‌تر (برخلاف نظر کشاورزان) می‌تواند هزینه کل شبکه فرعی کم‌فشار را تا ۱۵۷ میلیارد ریال کاهش دهد که این تغییر مستلزم آموزش‌های بلند مدت بهره‌برداری کشاورزان و مستقر شدن گروه بهره‌برداری حرفه‌ای در منطقه است. هزینه‌های هر بخش از اجراء به هزینه‌های کل شبکه فرعی کم‌فشار در شکل ۳ آمده است.

بر اساس نتایج متره و برآورد شبکه فرعی کم‌فشار، هزینه نهایی این شبکه برابر ۲۳۶ میلیارد ریال (به ازای هر هکتار، ۱۶۵۴ میلیون ریال) است. هزینه‌های تهیه لوله‌های پلی‌اتیلن، خرید شیرآلات و عملیات لوله‌گذاری لوله‌ها به ترتیب بیشترین هزینه‌های احداث شبکه فرعی کم‌فشار را تشکیل می‌دهند. چنانکه اشاره شد، جانمایی به نحوی انتخاب شد که بیشترین سازگاری را با شبکه سنتی موجود داشته باشد. بر اساس تحقیق باروت‌کوب و همکاران (۲۰۱۵) چیدمان شبکه‌های کم‌فشار در صورت نادیده گرفتن مسائل موجود در منطقه، حتی با وجود تأمین نیازهای هیدرولیکی، با



شکل ۳- درصد هزینه هر یک از اجزای متره برآورد نسبت به هزینه کل برای شبکه فرعی کم فشار.

نگهداری شبکه های کم فشار در ایران و خارج از کشور تفاوت چشمگیری ندارد، ولی هزینه بهره برداری و نگهداری در شبکه های فرعی روباز در ایران، تا ۴۰ درصد کمتر نسبت به این هزینه در کشورهای توسعه یافته برآورد می شود. در این دو مقایسه هزینه های بهره برداری و نیروی انسانی برابر فرض شده است، در نتیجه تنها عاملی که این تفاوت را ایجاد می کند، هزینه های نگهداری است. علت اصلی وجود تفاوت در هزینه های نگهداری، بی توجهی به نگهداری اصولی، و نگاه سطحی به مشکلات شبکه های روباز است. مثلاً در صورت شکست قسمتی از کانال، باید آن قسمت به طور کامل برداشته شود و مجدداً خاکریزی و کوبیده شود و سپس پوشش شود. اما معمولاً فقط پوشش تعویض می شود که یک راه حل کوتاه مدت است و کانال مجدداً دچار مشکل خواهد شد. علت اصلی بی توجهی به نگهداری شبکه های روباز، کارکرد این شبکه ها حتی با وجود مشکل در ساختار فیزیکی، ثمربخش دانستن راه حل های موقت و کوتاه مدت، و نبود منابع مالی لازم برای تعمیرات است. در رابطه با شبکه های لوله ای نیز شرایط فوق حاکم است، اما در این شبکه ها در صورت بروز مشکل در شیرآلات، پمپ ها یا تجهیزات برقی یا مکانیکی ایستگاه پمپاژ، کل سیستم از کار افتاده و لازم است شبکه حتماً تعمیر شود. از این رو با وجود تفاوت بین

هزینه های بهره برداری و نگهداری شبکه فرعی روباز و کم فشار

هزینه اصلی تعمیر و نگهداری شبکه های کم فشار مربوط به تعویض لوله ها، شیرآلات، پمپ ها و سایر اجزای مکانیکی و برقی شبکه است. از این بین هزینه تعویض لوله ها با توجه به طول عمر مناسب لوله های پلی اتیلن و GRP نسبت به سایر اجزا، از اهمیت کمتری برخوردار است (بی نام ۲۰۰۲). هزینه نگهداری تجهیزات برقی و مکانیکی ۴۴ درصد از کل هزینه های بهره برداری و نگهداری را تشکیل می دهد، این هزینه ها در صورت تغییر چیدمان لوله ها و کاهش تعداد شیرآلات، به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد. هزینه های نگهداری شبکه های لوله ای با نظر کارشناسان و به طور تجربی در ایران، برابر ۲/۵ درصد از هزینه اولیه (و در شبکه های روباز ۲ درصد از هزینه کل) پیشنهاد می شود.

نسبت هزینه های بهره برداری شبکه های فرعی کم فشار و روباز در ایران با آنچه در منابع خارج از کشور ذکر می شود متفاوت است (در برخی از منابع خارجی ذکر شده که هزینه های نگهداری و بهره برداری در شبکه فرعی کم فشار ۲۰ درصد کمتر از هزینه های نگهداری و بهره برداری شبکه های فرعی روباز است). در مقایسه بین شبکه های کم فشار و روباز در ایران و خارج از کشور، مشاهده می شود که هزینه های بهره برداری و

افزایش سطح زیر کشت به دلیل افزایش راندمان آبیاری است (جیحون و همکاران ۲۰۱۵). احداث شبکه فرعی کم فشار در منطقه مورد مطالعه می‌تواند ۳/۶ هکتار از اراضی را به علت اشغال فضای کمتر شبکه کم فشار، در اختیار کشاورزان قرار داده و همچنین سطح زیر کشت را به میزان ۲۱/۶ هکتار افزایش دهد. با توجه به مرغوبیت زمین در منطقه، قیمت هر هکتار زمین آبی و زمین دیم در منطقه به ترتیب برابر یک میلیارد ریال، و سیصد میلیون ریال برآورد می‌شود. پس در نتیجه‌ی اجرای شبکه کم فشار، سود حاصل از افزایش قیمت زمین کشاورزی (تبدیل دیم به آبی) برابر ۱۸ میلیارد ریال خواهد بود که برابر با ۸۳ درصد از هزینه کل احداث شبکه فرعی کم فشار در منطقه است. شایان ذکر است که در حالت کلی، توسعه کشاورزی و تبدیل اراضی دیم به آبی در شرایط کنونی و تنش آبی موجود در ایران، توصیه نمی‌شود و هدف اصلی، ذخیره‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف آب است. اما از آنجا که در این طرح منبع تأمین آب، چشمه است و فعلاً امکان ذخیره‌سازی آب وجود ندارد، در صورتی که آب چشمه مصارف دیگری در این ناحیه نداشته باشد می‌تواند برای مصارف کشاورزی توصیه شود. نکته دیگر این است که افزایش قیمت اراضی کشاورزی، وقتی که منبع آبی مطمئنی برای آبیاری آن‌ها وجود دارد، انکارناپذیر است و یکی از مشوق‌ها برای توسعه شبکه‌های آبیاری کم فشار است.

شبکه‌های آبیاری کم فشار، با وجود هزینه‌های اولیه بیشتر احداث و بهره‌برداری نسبت به شبکه‌های فرعی روباز، دارای مزایایی شامل سرعت احداث، افزایش راندمان به میزان ۲۱ درصد (قدمی فیروزآبادی و همکاران ۲۰۱۰)، سهولت در بهره‌برداری، افزایش درجه اعتماد و جلوگیری از اتلاف انرژی اولیه دارا هستند (طحان نظیف و جعفرپور، ۲۰۱۵). در نهایت در منطقه مورد مطالعه احداث شبکه فرعی کم فشار هم به دلایل مذکور و هم از نظر اقتصادی (به دلیل تأمین ۸۳ درصد

هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری شبکه‌های روباز در ایران و کشورهای توسعه‌یافته، در شبکه‌های لوله‌ای و کم فشار تفاوت چندانی از این حیث وجود ندارد. شایان ذکر است که در این پژوهش هزینه نگهداری و بهره‌برداری در کشورهای توسعه‌یافته ملاک قرار گرفته است.

نحوه بهره‌برداری در شبکه‌های کم فشار به دلیل کنترل جریان توسط شیرآلات در تمامی مقاطع، کاهش احتمال آگیری غیرمجاز از شبکه، کاهش احتمال دست‌کاری آگیرها و امکان تحویل میزان آب متناسب با نیاز گیاهان کارآمدتر و برای افراد آموزش‌دیده آسان‌تر خواهد بود. شبکه فرعی پیشنهاد شده در این پژوهش نیز به دلیل وجود جریان سنج و مشخص بودن دبی تحویلی به هر واحد آبیاری، توزیع عادلانه آب بین کشاورزان را افزایش می‌دهد. همچنین از ایجاد مناقشات و مسائل اجتماعی بین کشاورزان بر سر توزیع آب جلوگیری می‌کند. اما در صورت تأمین نشدن هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری (از سوی دولت یا کشاورزان) و بی‌توجهی به نگهداری و بهره‌برداری صحیح از شبکه لوله‌ای کم فشار، مشکلات به وجود آمده شبکه را به طور کامل از کار خواهد انداخت.

- مقایسه نهایی شبکه فرعی روباز و کم فشار

هزینه اولیه احداث شبکه فرعی کم فشار در این ناحیه آبیاری، به میزان ۶۵ درصد بیش از شبکه فرعی روباز است. استفاده از شبکه‌های کم فشار در مناطق پرشیب، علاوه بر حذف شیب شکن‌های مورد نیاز در مقایسه با شبکه روباز، امکان انتقال آب به صورت ثقیلی را افزایش می‌دهد (طحان نظیف و جعفر پور ۲۰۱۵). در این پژوهش، اراضی از شیب متوسط برخوردارند و با اجرای شبکه فرعی کم فشار، ۷۷ شیب شکن حذف شده و انرژی مستهلک شده در این شیب شکن‌ها برای انتقال آب در خطوط لوله استفاده شده است. یکی دیگر از مزایای شبکه‌های کم فشار نسبت به شبکه‌های روباز، کاهش زمین مورد استفاده برای احداث شبکه و همچنین قابلیت

اشاره شده ولی در مورد هزینه‌های آن اظهار نظر مشخصی وجود ندارد. در شبکه‌های کم‌فشار، تعمیرات و نگهداری بر خلاف شبکه‌های فرعی روباز، به نوعی اجباری است و اگر تا یک حد منطقی انجام نشود، آبی توزیع نخواهد شد. از این منظر، هزینه نگهداری و بهره‌برداری شبکه‌های کم‌فشار در عمل بیش از شبکه‌های روباز برآورد می‌شود. در انتهای این طرح شبکه‌های کم‌فشار به دلیل مزایای مختلف فنی و همچنین جبران هزینه‌های اولیه اجرای بیشتر با استفاده از افزایش راندمان انتقال و افزایش سطح زیر کشت، به‌عنوان گزینه برتر نسبت به شبکه فرعی روباز انتخاب شد. بر اساس نتایجی که حاصل شد می‌توان گفت که با وجود مقبولیت آبیاری کم‌فشار باید در هر منطقه مطالعات جامعی برای اجرای آن صورت گیرد و ممکن است شرایط خاص توپوگرافی، زراعی، بهره‌برداری و اقتصادی-اجتماعی در یک منطقه با اجرای آن همخوان نباشد؛ ضمن اینکه برای طراحی باید به میزان فشار نهایی خروجی، طراحی دقیق پمپ‌ها بر اساس گزینه‌های مختلف و نوع شبکه آبیاری کم‌فشار توجه ویژه داشت. روش‌شناسی به‌کار رفته در این تحقیق می‌تواند الگوی مناسبی برای این مطالعات باشد به‌ویژه که کاهش مصرف انرژی و شیوه‌های مختلف تحویل آب به مزارع مدنظر باشد.

از هزینه کل احداث شبکه فرعی کم‌فشار به‌وسیله احیای اراضی دیم و کاهش فضای اشغال‌شده توسط شبکه آبیاری)، نسبت به شبکه فرعی روباز، برتری دارد.

### نتیجه‌گیری کلی

عوامل مختلفی در توجیه اقتصادی برای اجرای طرح‌های آبیاری کم‌فشار، یا تبدیل شبکه‌های آبیاری فرعی روباز به این نوع از توزیع آب، دخالت دارند. استفاده از نوع چیدمان و جانمایی مناسب اراضی و منطبق بر قابلیت‌های آبیاری کم‌فشار می‌تواند هزینه‌های احداث شبکه را کاهش دهد. همچنین میزان اراضی بیشتری که پس از اجرای آبیاری کم‌فشار می‌توانند زیر کشت بروند و میزان کاهش هرزرفتن زمین نسبت به آبیاری روباز می‌تواند در توجیه اقتصادی و مقبولیت توسعه آبیاری کم‌فشار مؤثر باشد. در این تحقیق علاوه بر موارد مذکور، انتخاب پمپ به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار در هزینه‌های بهره‌برداری آبیاری کم‌فشار در طول دوره طرح مطرح شد و اثرات انتخاب پمپ‌های مختلف در مصرف انرژی و هزینه‌های طرح نشان داده شد. توپوگرافی مناسب اراضی برای آبیاری کم‌فشار مهم است و در این مطالعه شیب متوسط اراضی به کاهش مصرف انرژی در ایستگاه پمپاژ کمک می‌کند. در مراجع داخلی به سادگی بهره‌برداری در شبکه‌های کم‌فشار

### منابع مورد استفاده

- Anonymous, 2002. PVC Pipe-Design and Installation. Manual of Water Supply Practices-M23, Second Edition. American Water Works Association (AWWA), USA.
- Anonymous, 2013. Report on a comprehensive plan for water supply for irrigation district of right bank of Tang-Ab River, Pars Faraz Band Consulting Engineers Company, 350 p. (In Persian)
- Anonymous, 2022a. Price list of the basic unit of pressurized irrigation (62 p.). Plan and Budget Organization of the Islamic Republic of Iran. Tehran. (in Persian)
- Anonymous, 2022b. Price list of the basic unit of irrigation and drainage (94 p.). Plan and Budget Organization of the Islamic Republic of Iran. Tehran. (in Persian)
- Anonymous, 2022c. Price list of the basic unit of water distribution network (84 p.). Plan and Budget Organization of the Islamic Republic of Iran. Tehran. (in Persian)
- Baban R and Aidrus Ali M, 2001. The effect of introducing pipelines into irrigation water distribution systems on the farm economy: A case study in the southern governorates rural development project, Republic of Yemen. Irrigation and Drainage 50: 41-52. Doi: 10.1002/ird.2
- Barotkob Sh and Ramesh A, 2014. The effect of compliance with irrigation planning on the success or failure of a low-pressure irrigation network, the first national conference to study the dimensions of the

- implementation of the 550,000-hectare agricultural development plan, Ahvaz. <https://civilica.com/doc/434218>. (in Persian with English abstract)
- Bentum RV and Smout Lk, 1994. Buried Pipelines for Surface Irrigation. London, Loughborough University of Technology.
- Bina M and Zarshanas M, 2006. Introduction of low pressure pipe design criteria and criteria for the Mianab Shushtar irrigation and drainage sub-network plan, 1st Irrigation and Drainage Network Management National Conference, Ahvaz. <https://civilica.com/doc/5487>. (in Persian with English abstract)
- Ghadami Firouzabadi A, 2012. Technical evaluation of low pressure irrigation pipe (Hydroflume) and comparison with traditional and sprinkler irrigation systems. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4(3): 108-113.
- Jeihun Gh, Zershanas M, Tawaklizadeh A and Qabadian R, 2015. Evaluation of the use of surface and low pressure irrigation systems in irrigation sub-networks, 1st Irrigation and Drainage Network Management National Conference, Ahvaz, <https://civilica.com/doc/5599>. (in Persian with English abstract)
- Minaei S, Behzadi Nasab M and Marufpour I, 2005. Technical and economic comparison of low pressure distribution systems with surface and rain irrigation systems. Mechanized Surface Irrigation Technical Workshop, Tehran (in Persian with English abstract)
- Mokhtari Hesari A, Rezaei R and Shabanali Fami H, 2019. Viewpoint of experts of East Azerbaijan Agriculture Jihad on Problems of using low pressure irrigation system by users. Journal of Agricultural Education Administration Research, 11(50):74-90. Doi: 10.22092/jaeear.2019.127371.1638. (in Persian with English abstract)
- Pereira LS, Calejo MJ, Lamaddalena N, Douieb A and Bounoua R, 2003. Design and performance analysis of low pressure irrigation distribution systems. Irrigation and Drainage Systems 17: 305–324. Doi: 10.1023/B:IRRI.0000004558.56077.d4
- Tahan Nazif M and Jafarpour M, 2014. Comparison of irrigation sub-channels with concrete cover and low pressure pipes, a case study of the sub-irrigation network of Dasht Avan Shush, The first national conference to study the dimensions of the implementation of the 550,000-hectare agricultural development plan, Ahvaz. <https://civilica.com/doc/434157>. (in Persian with English abstract)